



TITLE:

ポテンシャル・エネルギーの消費  
と侵蝕地形(形の物理学,研究会報告  
)

AUTHOR(S):

徳永, 英二

---

CITATION:

徳永, 英二. ポテンシャル・エネルギーの消費と侵蝕地形(形の物理学  
,研究会報告). 物性研究 1984, 42(1): 56-62

ISSUE DATE:

1984-04-20

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/91306>

RIGHT:

の欠陥，不純物などの効果を調べる。

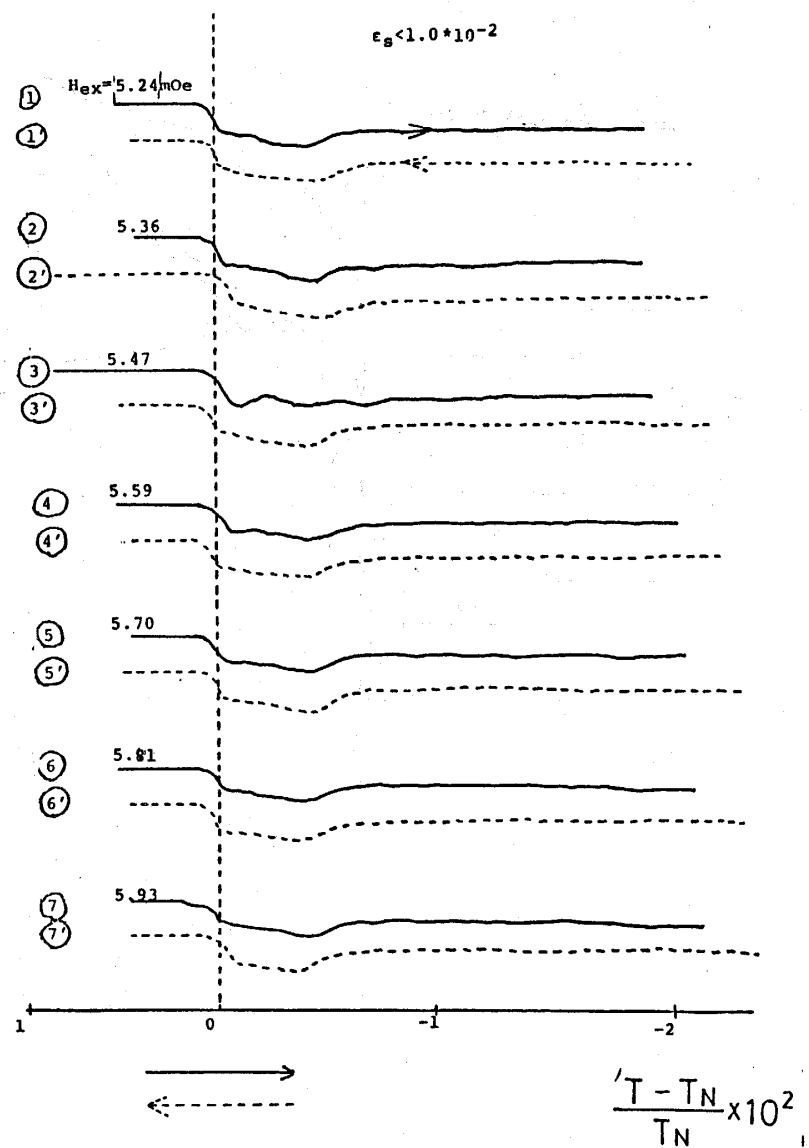


Fig. 8

## ポテンシャル・エネルギーの消費と侵蝕地形

中央大・経済 徳 永 英 二

### § 1. はじめに

湿潤な地帯では流域は地形の構成要素と見なされる。流域の骨格をなす水系は，通常エネルギーと物質の出入があるから開いた系と考えられている。しかし，水塊の持つポテンシャル・

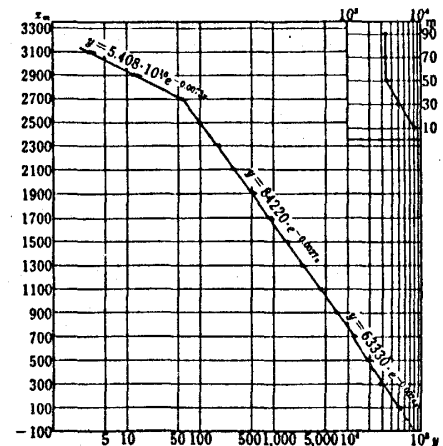
エネルギーのほとんどは、水系の出口に達する迄に侵蝕や物質の運搬のために消費されてしまう。したがって、水系は、系内での正味のエネルギーの変化がないという意味では、閉じた系としての基本的特性を有するものともいえる (Yang and Stall, 1973) このような考え方は、流域のほか、山体、島、大陸などの地形单元にも適用することが可能である。そこで、一つの平衡状態に対応する系として、ポテンシャル・エネルギーの消費が最も確からしい状態にある系を考え、その系と地形計測によるデータ、経験則、定性的な論議等とを対応させてみる。

## § 2. 高度と面積の関係

地形は実に複雑な形態をしている。そこに地形学のテーマの多様性を認めることができるのであるが、一方、ある統計量に注目すれば、比較的単純な考察も可能である。第1図は、日本島（北海道、本州、四国、九州の4島を合せたもの）の高度—面積の関係を示す（阪口, 1964）。原論文では、これら4島を一括して一つの造地形单元とみなしている。面積を示標する値は、5万分の1地形図上での経度、緯度各1分のメッシュの交点の200m毎級区間の頻度で与えられている。図では、交点数を対数軸にとり、高度—面積の関係が3つの直線によって示されている。ここでは、まず、両者の関係が指数関数で表わされることに注目しておこう。

水塊のポテンシャル・エネルギーの損失量に注目して河川の平衡縦断面形 (Yang, 1971) や流域構成に関する法則 (Kashiwaya, 1980) を説明しようとの試みはすでになされている。本章では、このポテンシャル・エネルギーの消費が最も確からしい状態にある系を設定し、上記のような地形单元の高度—面積の関係と対応させてみる。

ある地形单元に対し、その高度を  $(m-l+1)$  個の級区間に分割し、最高級区間を  $m$ 、最低級区間を  $l$  とする。ある級区間、すなわち、 $i$  区間の面積を  $a_i$ 、その区間に一定期間に降水により供給される単位水塊の数を  $n_i$ 、各級区間の落差を  $z$ 、単位水塊が一定期間に  $i$  区間で失う失うポテンシャル・エネルギーの量を  $u_i$  とし、 $n_i = \alpha a_i$  ( $\alpha$  は一定とみなす)、 $u_i = \beta z$  ( $\beta$  は一定とみなす) なる関係が成立するものとする。ここで、 $l$  区間以上の地形单元の面積（地形单元の底面積）を  $A$ 、その体積を  $V$ 、一定期間に地形单元全域に降水により供給さ



第1図 日本島の高度頻度分布（阪口豊, 1964）

$x$ : 高度（200m級区間の中間値で示す）

$y$ : 頻度（地形図上のメッシュの交点数）

れる水塊数を  $n$ ，その期間に  $i$  区間に供給される水塊がそれ以下の区域で失うポテンシャル・エネルギーの量を  $U_i$  とすれば， $A = \sum_{i=l}^m a_i$ ， $n = \sum_{i=l}^m n_i$ ， $U_i \doteq \beta n_i (i-l+1)z$  であるから，

$$\sum n_i = \alpha \sum a_i = n = \alpha A \quad (2-1)$$

$$\sum U_i \doteq \beta \sum n_i (i-l+1)z = \alpha \beta \sum a_i (i-l+1)z \doteq \alpha \beta V \quad (2-2)$$

(2-1)，(2-2)において，近似記号を等号とみなし， $A$ ， $V$ がそれぞれ一定という条件で，状態数が最大となる関係を求めると，

$$n_i = n_l e^{-(i-l)rz} \quad (2-3)$$

となる。ただし， $r = (z)^{-1} \ln C$  で， $C > 1$ 。対応する単位水塊が一定期間に  $i$  区間以下の区間で失うポテンシャル・エネルギーの量を  $u'_i$  とすると，

$$u'_i = \beta (i-l+1)z \quad (2-4)$$

である。(2-3)，(2-4)の関係は第1図の直線に対応する。また， $n_i$  は

$$n_i = \frac{n_l e^{-(i-l)rz}}{\sum e^{-(i-l)rz}} \quad (2-5)$$

とも表わされる。その際，与えられた最高点，最低点に対し，級区間数を充分に多くとれば，

$$\begin{aligned} n_i &= n_l e^{-(i-l)rz} (1 - e^{-rz}) \\ &= n_l e^{-(i-l) \ln C} (1 - e^{-\ln C}) \end{aligned} \quad (2-6)$$

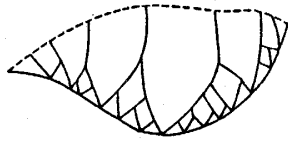
ところで，原論文の著者は第1図をどのように解釈しているのでしょうか。「各直線が示す高度分布の地形を形成した時期全体を造地形期とよぶことにすると，日本島では造地形期は前期，中期，後期にわけられる」（阪口，1964）としている。しかも，直線の傾きは，地盤の隆起速度が大きいほど，また，地盤が安定したのちの経過時間が短いほど大きいとの解釈を下している（阪口，1964）。

地盤運動である地形単元が出現した場合，その後の侵蝕で（部分的には堆積も行われる），かなり短い期間（地質学的時間でいう）に，(2-3)および(2-4)または(2-6)で表わされる状態を近似的に満足する高度一面積分布が出現し，その後，徐々にではあるが，このような関係を近似的に満足する分布型を維持しながらも，全体としては侵蝕が進み，地形単元の体積が減少し，しかも，第1図でいう直線の傾きが小さくなるという過程は考えられないだろう

か。(2-1), (2-2), (2-3), (2-4), (2-6)において, 地形単元の体積が減少した場合, 地形単元に供給される水塊数が一定ならば(底面積一定), 第1図のようなプロットでは, 傾きが小さくなる。また, 地盤の隆起が継続している場合, それは地形単元の体積の減少とは反対の方向に作用していると解釈することができる。

### § 3. 流域による地形単元の分割

ある次数の水路の落差(最高点と最低点との差)に対するそれより1次低次の水路の落差の比を水路落差比という<sup>1)</sup>(Yang, 1971)。これまでに得られたデータでは, 落差比は1を中心に分布し, しかも, 地形学的な統計量としては, その分散が著しく小さい(Yang, 1971; 島野, 1978)。そこで, 同一流域内では落差が等しいとみなし, それを等落差則と呼んでいる(Yang, 1971)。本章では, 対象とする地形単元全体で次数ごとの水路落差が等しいと仮定し, 流域による地形単元の分割について考察する。いま, ある地形単元が, 第2図のように数多くの



第2図 流域による地形単元の分割  
図は脊梁山脈の片側などに  
対応する。

流域( $m \sim l$ 次)で分割されているものとする。出口がしぼられていない区域を流域間末端面としておく。このような地形単元区域外に直接排水する流域のすべてに次数づけを行い,  $i$ 次流域の面積の平均値を  $A_i$  一定期間に  $i$ 次流域一つに降水により供給される水塊数の平均値を  $n_i$  とした場合,  $n_i = \alpha A_i$  ( $\alpha$ は一定)なる関係が成立するものとする。また, 一定期間に単

位水塊が  $i$ 次流域内で失うポテンシャル・エネルギーの平均値を  $u_i = \beta(i-l+1)z$  ( $\beta$ は一定)なる関係が成立するものとする。さらに, 上記の  $i$ 次流域一つに一定期間に供給される水塊が同期間に失うポテンシャル・エネルギーの平均値を  $u'_i$ , 地形単元区域内の同様な  $i$ 次流域の数を  $N_i$ , 地形単元区域内の同様な  $i$ 次流域全部に同期間に供給される水塊数を  $n'_i$  とすれば, 次の関係式が成立する。

$$n'_i = N_i n_i = \alpha N_i A_i \quad (3-1)$$

$$u'_i = \beta(i-l+1)z n_i = \alpha \beta(i-l+1)z A_i \quad (3-2)$$

さらに, 全部の流域間末端面に一定期間に供給される水塊数を  $\eta$ , そのような水塊が同期間に失うポテンシャル・エネルギーを  $\xi$ , 地形単元の面積を  $A$ , 地形単元全体に同期間に供給される水塊が失うポテンシャル・エネルギーを  $U$  とすると,

$$\Sigma n'_i + \eta = \alpha A \quad (3-3)$$

$$\Sigma N_i u'_i + \xi = \beta \Sigma n'_i (i-l+1) z + \xi = U \quad (3-4)$$

なる関係が成立する。ここで大縮尺の地形図を用い、 $\eta$  および  $\xi$  の値が全体に比較して無視できる程度に迄、小さな流域をも次数づけすれば

$$\Sigma n'_i = \alpha A \quad (3-5)$$

$$\Sigma n'_i (i-l+1) z = U/\beta \quad (3-6)$$

なる関係を導くことができる。ここで、 $A$  および  $U$  が一定という条件で状態数が最大となる関係を求めると、

$$n'_i = n'_l e^{(i-l) rz} \quad (3-7)$$

となる。ただし、 $r = (z)^{-1} \ln C$  で  $C > 1$ 。(3-7) は

$$n'_i = \frac{n'_l e^{-(m-i) rz}}{\Sigma e^{-(i-l) rz}} \quad (3-8)$$

とも書ける。ただし、 $n' = \Sigma n'_i$ 。(3-8) が充分に大きい場合、

$$n'_i = n'_l e^{-(m-i) \ln C} (1 - e^{-\ln C}) \quad (3-9)$$

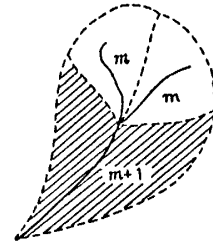
となる。

ところで、地形学の分野では、これまでも、安定した大陸にある国の国土の相当部分がいくつかの流域で占められているという事実が指摘されたことがある(阪口ほか, 1976)。この指摘は、安定大陸では、河川が生じる場所全体に対する流域の占有率が高いということを前提になされたものと解される。

このような事実に対して、以下のような解釈は成り立たないだろうか。すなわち、地盤運動で、ある地形単元が出現した場合、比較的短い期間に(3-7)や(3-9)を近似的に満足するような流域による地形単元の分割が行われる。その後このような関係を近似的に満足する分布型が維持されながらも、全体として侵蝕が進むにしたがって、 $(m-l+1)z$  の値が小さくなる。すなわち、(3-5)における  $A$  の値が一定で、(3-6)における  $U$  の値が減少し、大流域に供給される水塊数の全体に対する占める割合が増大する。継続する地盤の隆起は、§ 2 と同様に反対の方向に作用していると解釈する。

## § 4. 河川の分岐について

§ 3 での地形单元分割の考えをそのまま流域に適用してみる。第 3 図に示すように、 $m$  次の水路が 2 本合流した  $(m+1)$  次の水路を形成した場合、斜線をほどこした部分は、 $(m+1)$  次の水路に直接流入する  $m \sim l$  次の水路によって、多数の流域と流域間末端面とに分割される。 $(m+1)$  次の水路 1 本に直接側方より流入する  $i$  次の水路の数を  $N_i$ 、その流域面積（平均値）を  $A_i$  とすると、(3-1) および (3-7) より

第 3 図  $(m+1)$  次流域の分割

$$\frac{A_{i+1} N_{i+1}}{A_i N_i} = C \quad (4-1)$$

なる関係が得られる。ここで、流域面積比  $R_A$  が一定という意味で、流域が相似的に構成されているとすると、

$$\frac{A_{i+1}}{A_i} = C \frac{N_i}{N_{i+1}} = R_A, \quad \frac{N_i}{N_{i+1}} = \frac{R_A}{C} = K \quad (4-2)$$

となる。ただし、 $K$  は同一流域内で一定。

ここで、 $\varepsilon_1$  をある次数の水路 1 本に直接側方より流入するそれより 1 次低次の水路の数（流域全体での平均値）とすれば、 $N_m = \varepsilon_1$ ,  $N_{m-1} = \varepsilon_1 K$ , ...,  $N_i = \varepsilon_1 K^{m-i}$ , ...,  $N_l = \varepsilon_1 K^{m-l}$  となり、筆者が提案するサイクリック・システムが形成されることになる (Tokunaga, 1978)。また、そのサイクリック・システムが、Horton の水路数の法則より、現実の水路網に対してよく適合することは証明されている (Tokunaga, 1978)。

## § 5. おわりに

§ 1 で述べた条件の下にモデルを考え、それと、地形計測によって得られたデータ、経験則、定性的論議とを対応させて考察した。モデル自体はまだつめるべき点をつめていない未完成品と考えている。表題にある侵蝕地形という用語は、長期間では全体として流水によって侵蝕される過程にある地形单元や流域という意味で用いている。その間に部分部分では、侵蝕、堆積、再侵蝕、……、といった現象が生じるのを当然のこととしている。本論で述べたこと以外にも、モデルと対応する定性的論議はあるが、紙数の関係上割愛する。まずは御批判を仰ぎたい。

## 文 献

阪口 豊 (1964) : 日本島の地形発達史について。地理評, 37, 387 ~ 390。

徳永 英二

阪口 豊・高橋 裕・鎮西清高(1976): 日本の地形—その生い立ちと特色—。科学, 46, 223 ~ 234。

島野安雄(1978): 日本の河川流域における水系網の特性について。地理評, 51, 776 ~ 784。

Kashiwaya, K. (1980): Comments on the law of average stream fall. 地形, 1, 23~33.

Tokunaga, E. (1978): Consideration on the composition of drainage networks and their evolution. Geogr. Rep. Tokyo Metrop. Univ., 13. 1~27.

Yang, C. T. (1971): Potential energy and stream morphology. Wat. Resour. Res., 7, 311~322.

Yang, C. T. and Stall, J. B. (1973): *Unit stream power in dynamic stream systems*. Morisawa, M. E. ed.: *Fluvial geomorphology*, State University of New York, New York, 285~297.